

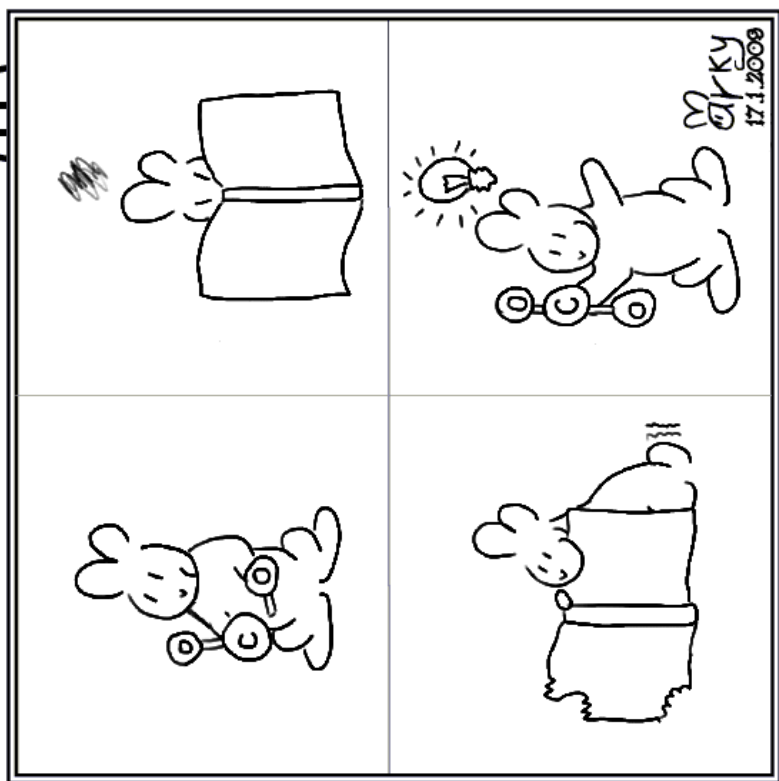


Korespondenční Seminář Inspirovaný Chemickou Tematikou

ročník 7, série 3

2008/2009

Zajímavé chemie





Korespondenční seminář probíhá pod záštitou
Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy
Hlavova 2030
128 43 Praha 2

Milí příznivci chemie i ostatních přírodovědných oborů!

Právě držíte v rukou zadání úloh Korespondenčního Semináře Inspirovaného Chemickou Tematikou, KSICHTu. Už sedmým rokem pro vás, středškoláky, KSICHT připravují studenti Přírodovědecké fakulty Univerzity Karlovy v Praze a dalších vysokých škol. Seminář je podporován v rámci Rozvojeového projektu CSM 8/2009.

Jak KSICHT probíhá?

Korespondenční seminář je soutěž, při níž si vy, řešitelé KSICHTu, dopisujete s námi, autory, a naopak. Vy nám pošlete řešení zadaných úloh, my vše opravíme, ohodnotíme a zašleme vám je zpátky s příloženým autorským řešením a pěti úlohami nové série. To všechno se za celý školní rok čtyřikrát zopakuje.

Proč řešit KSICHT?

V rámci tohoto semináře se zdokonalíte nejen v chemii samotné, ale i v mnoha dalších užitečných schopnostech. Za všechny jmenujme zlepšení logického myšlení, schopnosti vyhledávat informace, třdit je a zařazovat je do kontextu. Ačkoli to zní možná hrozně, nebojte, ono to půjde vlastně samo.

Na *výletech* se můžete seznámit s dalšími řešiteli KSICHTu a námi, autory, studenty vysokých škol. Máte šanci rozšířit si své obzory, ale taky se bavit a užít si. Uvidíte, že chemici nejsou suchaři v bílých pláštích.

Na konci školního roku pořádáme na Přírodovědecké fakultě UK *odborné soustředění*, kde si vyzkoušíte práci v laboratoři, seznámíte se s moderními přístroji a poslechnete si zajímavé přednášky. Pro nejlepší řešitele jsou připraveny hodnotné ceny!

Od letošního akademického roku se nám navíc podařilo zajistit **promíjení přijímacích zkoušek** do chemických (a některých dalších) studijních oborů na **Přírodovědecké fakultě UK**. Bez přijímací zkoušky budou přijati řešitelé, kteří ve školním roce 2007/2008 získali alespoň 50 % z celkového počtu bodů

nebo ve školním roce 2008/2009 v 1.–3. sérii získají alespoň 50 % z celkového počtu bodů za tyto série.

Jaké úlohy na vás čekají?

Úlohy se týkají různých odvětví chemie a snažíme se, aby si v nich každý z vás přišel na své. Jsou tu úlohy hravé i pravé lahůdky, jejichž vyřešení už dá práci. Nechceme jen suše prověřovat vaše znalosti, procvičíte si i chemickou logiku a v experimentální úloze prokážete též svou chemickou zručnost. Pokud nezáldnete vyřešit všechny úlohy, vůbec to nevadí, byli bychom moc rádi, kdybyste si z řešení úloh odnesli nejen poučení, ale hlavně abyste se při řešení KSICHTu dobře bavili. Jak se nám naše snažení daří, to už musíte posoudit sami.

KSICHT vám přináší s každou sérií i seriál, čtení na pokračování. V letošním ročníku zarážujeme na vaše přání seriál o nanočásticích. Dozvíte se spoustu zajímavých a užitečných informací, které pak můžete použít nejen při řešení úloh KSICHTu, ale i při dalším studiu chemie.

Jak se tedy můžete stát řešiteli KSICHTu?

Není nic jednoduššího! Stačí se jen *zaregistrovat*¹ na našich webových stránkách. Řešení nám poté můžete poslat buď klasicky na adresu **KSICHT, Přírodovědecká fakulta Univerzity Karlovy, Hlavova 2030, 128 43 Praha 2** nebo elektronicky přes *webový formulář*² jako soubory typu PDF.

V případě jakýchkoliv dotazů či nejasností se na nás prosím kdykoliv obraťte e-mailem ksicht@natur.cuni.cz.

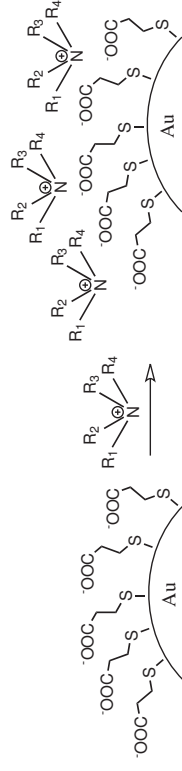
Každou úlohu vypracujte na zvláštní papír (aspoň formátu A5, menší kusy papíru mají totiž tendenci se ztrácet), *uved'te svoje celé jméno, název a číslo úlohy!* Řešení pište čitelně, vez'te, že nemůžeme považovat za správné něco, co nelze přečíst.

V případě, že posíláte úlohy přes webový formulář, uložte každou úlohu do *samosvatného souboru typu PDF* a nezapomeňte v záhlaví každé stránky uvést *svoje celé jméno, název a číslo úlohy!* Více informací o elektronickém odeslání řešení naleznete přímo na stránce s formulářem. *Neposílejte nám prosím naske-novaná řešení*, neboť jsou často velice špatně čitelná. Výjimkou jsou nakreslené a naskenované obrázky, které připojíte k řešení napsanému na počítači.

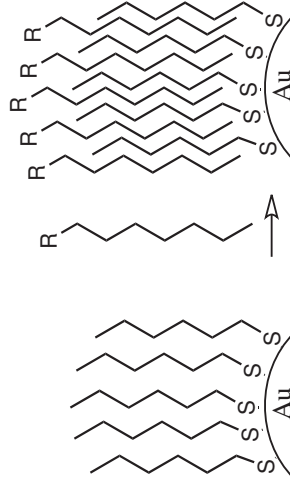
Do řešení také pište všechny vaše postupy, kterými jste dospěli k výsledku, neboť i ty budujeme. Uved'te raději více než méně, protože se může stát, že za strohou odpověď nemůžeme dát téměř žádný bod, ačkoli je správná. Řešení

¹<http://ksicht.natur.cuni.cz/prihlaska>

²<http://ksicht.natur.cuni.cz/odeslani-reseni>

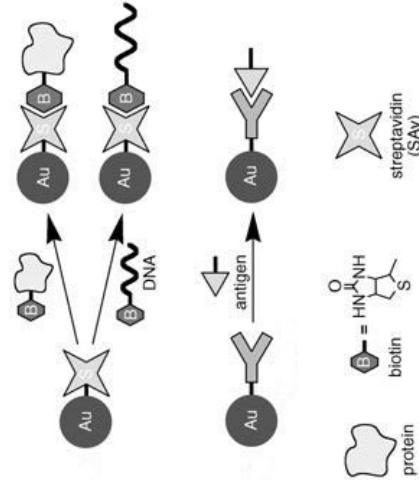


Obrázek 5: Tvorba elektrostatické interakce



Obrázek 6: Tvorba hydrofobní interakce

pinu. Tou pak biotin naváže na nanočástici. K modifikovaným nanočásticím se přidá streptavidin a vznikne velmi silný komplex. Další možností je navázání protilátky na povrch nanočástic. Komplex je vytvořen přidáním antigenu.



Obrázek 4: Bioafinitní vazba biotin-streptavidin a protilátka-antigen

Vytvoření elektrostatické interakce mezi imobilizovanou látkou a modifikovanou nanočásticí

Tento způsob využívá stejného způsobu stabilizace jako například nanočástice připravené redukcí citrátem. Základem jsou nanočástice modifikované merkaptoderivátem, který obsahuje další funkční skupinu, například karboxylovou. Po přidání látky obsahující například kvartérní atom dusíku dojde k vytvoření iontové vazby (viz obrázek 5). Výhodou je, že není nutné zavádět do potřebné látky merkaptoskupinu, nevýhodou je nestálost iontové vazby za extrémních podmínek.

Vytvoření hydrofobní interakce mezi imobilizovanou látkou a modifikovanou nanočásticí

Na tomto způsobu jsou založené tzv. „kartáče“. Z povrchu nanočástic ční do prostoru dlouhé alifatické řetězce, které jsou rovnoběžné. Pokud se přidá látka, která má také dlouhé alifatické řetězce, dojde k vmezeření mezi řetězce imobilizované látky a vznikne hydrofobní interakce (viz obrázek 6). Tato vazba je relativně pevná a odolná proti změnám pH.

vypracovávejte samostatně, neboť při společném řešení se spoluřešitelé podělí o získané body rovným dílem.

Errata

Tiskářský skřítek posunul v úloze Kódované obrázky nápovědu v pravém horním rohu druhého obrázku o jedno místo doleva. Omlouváme se za jeho nebednost.

Následujícím řešitelům byly nedopatřením chybně sečteny body u některých úloh první série: Barbora Beňová, Ondřej Henych, Adéla Jenišťová, Matouš Krömer, Jakub Sedláček. Velice se omlouváme. Výsledková listina na webových stránkách je již opravena.

Tipy, triky

Pro kreslení chemických vzorců doporučujeme používat programy dostupné zdarma: MDL ISIS/Draw 2.5 (freeware s povinnou registrací; Windows, MacOS), ChemSketch 10.0 Freeware (freeware s povinnou registrací; Windows) a Chemtool (GPL; Linux).

KSICHT na Internetu

Na webových stránkách KSICHTu³ naleznete brožurku ve formátu PDF a rovněž aktuální informace o připravovaných akcích.

Pokud máte dotaz k úloze, můžete se zeptat přímo autora na e-mailové adrese ve tvaru jmeno.prijmeni@ksicht.natur.cuni.cz. Jestliže má úloha více autorů, pište prvnímu uvedenému.

Výlet s KSICHTem

Pozor, pozor! Konce března, nebo začátkem dubna se uskuteční další výlet s KSICHTem. Približně v polovině února se na našich webových stránkách objeví další podrobnosti.

Termín odeslání 3. série

Série bude ukončena **2. března 2009**. Vyřešené úlohy je třeba odeslat nejpozději v tento den (rozhoduje datum poštovního razítka či čas na serveru KSICHTu).

³<http://ksicht.natur.cuni.cz>

Úvodníček

Drahé Ksichfáčky, drazí Ksichfáci!

Školní rok se přehoupl do druhé půlky a to znamená, že je nejvyšší čas na třetí sérii KSICHTu. Stále kolem sebe slyším, jak mají všichni málo času a nestíhají. Pravda, nejčastěji tenhle povzdech vychází z mých vlastních úst. Na druhou stranu komu jinému věřit než sám sobě. Nebudu tedy tentokrát zdržovat zbytečnou omáčkou a vrhneme se po hlavě do zadání. Hned první úloha je zabíjáčka. Ale nebojte se, krev u ní rozhodně nepoteče. Hmyzáci totiž mají křovímízu. Na vás je, abyste zjistili, co na ty potvory zabírá. Na co se můžete těšit ještě? Jak zajisté každé dítě odchované unifikovaným školním systémem ví, na růst kostí a svalů není nic lepšího než sklenice blahodárného mléka. Ideálně se škraloupem plovoucím na jeho hladině. Osobně doufám, že ten ohavný škraloup, který nám na něm vždycky ve školce plavával, nebyl nerozpuštěný nadbytek melaminu podle čínského vzoru. Zajímá vás, co to ten melamin je, proč se občas dává do mléka a proč nám nedělá zrovna dvakrát dobře? Mrkněte na úlohu dvě. Pokud vás víc než mléko zajímají těžké kovy a již od dětských let máte raději stavebnice, kde lze spojovat všechno se vším, potom rozhodně doporučuji věnovat pozornost programovatelné hmotě pod číslem tři. Bude to to pravé právě pro vás. Mimo chodem, už jste někdy viděli květináč z cukru? No, já osobně teda ne. Ale ony opravdu existují a jsou prý úplně všude. Čestný slovo. Akorát že jsou hrozně malinkatý, jmenují se cyklodextriny a je jim věnovaná úloha číslo čtyři. Na závěr jsme si pro vás připravili takový oříšek. Vlastně spíš melounek... Přesněji řečeno hromadu melounků. Máme je nějak polážené a vy byste byli moc laskaví, kdybyste nám je pomohli stovnat tak, aby zabíraly co nejmíň místa.

Kromě výše zmíněných úloh je pro vás tradičně nachystán i seriál a komiks. Závěrem pak všem, co by si to s námi chtěli vyřídit osobně a nebo se jen chtějí zas po čase se všemi vidět, připomínám, že letošní jarní výlet se bude konat v dubnu v Jihlavě.

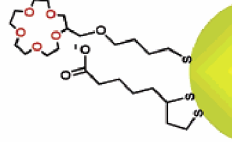
Mějte se hezky a mnoho úspěchů při řešení

Honza Havlík

Modifikovaná nanočástice	Reaktant	Výsledná nanočástice

Tabulka 1: Příklady používaných chemických reakcí s nanočásticemi

Důvodů, proč využít tento způsob modifikace, je několik. Jedním důvodem bývá prostorová náročnost látky, kterou chceme imobilizovat na nanočástice. Proto se nejprve použije nějaký nereaktivní merkaptoderivát (například butan-thiol) a pak následuje imobilizace dané látky. Jinou možností je kooperace imobilizovaných látek, kdy funkční skupiny každé z látek orientované do prostoru slouží jako receptory. Jedním takovým příkladem jsou nanočástice zlata, na které je navázána lipoová kyselina a modifikovaný crown-ether (viz obrázek 3). Tyto nanočástice jsou schopny selektivně detekovat draselné kationy díky inkorporaci kationu do kavity crown-etheru a stabilizace náboje prostřednictvím karboxylové kyseliny.



Obrázek 3: Příklad modifikace dvěma různými merkaptoderiváty

Chemická modifikace merkaptoderivátů

Pokud má použitý merkaptoderivát ještě další funkční skupinu, je možné provést další reakce, nepoužívanější jsou uvedeny v tabulce 1.

Postupuje se klasicky jako při organické syntéze. Lze tedy nejprve modifikovat povrch nanočástic nějakou jednoduchou látkou, kterou lze pak chemickými reakcemi upravit do požadované podoby. Výhoda této cesty před cestou tvorby merkaptoderivátu požadované látky je zřejmá. Nanočástice lze z reakční směsi velmi jednoduše izolovat centrifugací a odpadá tak složitá čištění látek. Tato modifikace je tedy podobná reakcím na pevné fázi, ale s tím rozdíl, že nanočástice jsou v celém objemu reakční směsi a reakce jsou tak v podstatě homogenní.

Vytvoření komplexu mezi imobilizovanou látkou a modifikovanou nanočásticí

Další z metod, které lze použít, je tvorba komplexu (viz obrázek 4). Příkladem může být biotin, který se modifikuje reakcí tak, aby měl merkaptosku-

Zadání úloh 3. série 7. ročníku KSICHTTu

Úloha č. 1: Úloha profihmyzí

Autorři: Renata Doleželová a Pavla Spáčilová

8 bodů



Již za dob našich babiček existovaly nejrůznější způsoby, jak se zbavit obtížného hmyzu. Velmi často se k tomuto účelu užívala jedna houba, jejíž klobouk se namáčel v mléce a sloužil pak jako otrávená návnada. Nutno připomenout, že taková návnada nebyla jedovatá jen pro hmyz, ale také pro člověka.

1. Jak se ona houba nazývá rodovým i druhovým jménem? Které toxické látky obsahuje?

Další možnost jak se vypořádat s hmyzem se k nám dostala ze střední a Jižní Ameriky. Insekticid je obsažen v listech jedné z tanejších rostlin a slouží jako přirozená ochrana proti larvám škůdců. Tato rostlina k nám byla přivezena kolem roku 1560 a byla pojmenována po prvním dovozci do Evropy. Ona toxická sloučenina z ní byla izolována v roce 1828. Na přelomu 19. a 20. století byla připravena laboratorně a položila základy pro syntetické insekticidy, které se používají dodnes. Jako insekticid se používala již v 16. století. Má však i léčivé účinky (Alzheimerova nebo Parkinsonova choroba, schizofrenie, autismus, Tourettův syndrom). Tato bezbarvá nebo slabě nažloutlá kapalina, která na vzduchu hnědne, patří mezi prudké jedy s rychlým průběhem otravy.

2. Pojmenujte onen americký insekticid a napište jeho vzorec.

3. Kdo byl dovozcem semen rostliny do Evropy? Jak se rostlina nazývá česky a jak latinsky?

Jako nejučinnější přírodní přípravky proti hmyzu bývají označovány látky obsažené v rostlinách pocházejících z Dalmácie. Příbuzný druh se vyskytuje také na Kavkazu. Obě rostliny se používaly k výrobě prášků proti hmyzu – jedna tzv. dalmatského, druhá kavkazského prachu. V Evropě se těchto prášků používalo například za napoleonských válek pro likvidaci vši a blech.

4. O jaké rostliny se jedná? Napište český a latinský název (vyskytuje se více variant, podle různých botaniků).

5. Jak se souhrnně nazývají insekticidní obsahové látky těchto rostlin?

Vzhledem k tomu, že se tyto přírodní sloučeniny rychle rozkládají, byla syntetizována jejich analoga, jež jsou účinnější a hlavně stabilnější. Dnes se

běžně používají například ve sprejích proti létajícímu hmyzu (jmenujme např. populární biolit).

6. Jak se skupina těchto syntetických derivátů nazývá?

Výše zmíněné syntetické sloučeniny jsou především estery karboxylové kyseliny *X*. Jejich syntéza je poměrně jednoduchá. Vychází ze symetrického terciárního alkoholu *A* ($C_8H_{18}O_2$), který zahríváním v prostředí kyseliny sírové poskytuje uhlovodík *B*. Jeho reakcí s ethyl-diazoacetátem a $CuSO_4$ v toluenu získáme směs dvou izomerů látky *C*. Posledním krokem přípravy kyseliny *X* je reakce s vodným hydroxidem draselným.

7. Nakreslete vzorce sloučenin *A-C* a také vzorec karboxylové kyseliny *X*.

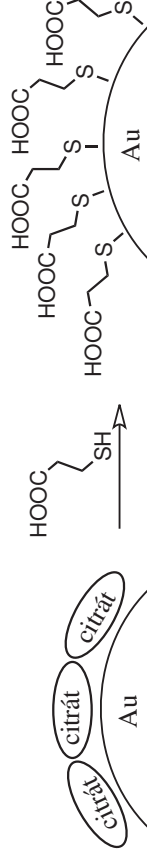
Jak se tato kyselina nazývá triviálním názvem? Jaký izomer této kyseliny se vyskytuje v přírodě?

Bezpochyby nejslavnějším insekticidem je látka, která byla poprvé syntetizována v roce 1874. Její insekticidní účinky však byly objeveny až v roce 1939 a byly dokonce oceněny Nobelovou cenou v roce 1948. Tato sloučenina byla používána k hubení hmyzu již za druhé světové války, po jejím skončení se rozšířilo její používání po celém světě. Syntéza této látky je velmi jednoduchá. Jedná se o kondenzaci dvou výchozích sloučenin za přítomnosti kyseliny sírové. Zpracování reakční směsi je rovněž velmi jednoduché – stačí ji nalít do vody a vyloučený produkt, ve vodě jen velmi málo rozpustný, odfiltrovat.

8. Jak se jmenoval chemik, jež objevil insekticidní účinky této sloučeniny?

9. Jak se nazývá tento insekticid? Napište chemický vzorec.

10. Ze kterých dvou sloučenin se ona látka připravuje? Napište jejich názvy a nakreslete vzorec.



Obrázek 1: Příklad modifikace elektrostaticky vázané látky merkaptoderivátem

O reakci merkaptoderivátu s povrchem nanočástic se stále vedou diskuze. Jisté je, že vzniká kovalentní vazba mezi atomem síry a atomem, ze kterého je nanočástice tvořena. Dochází tak k zániku vazby S-H. Osud atomu vodíku není zcela prozkoumán, lze najít hypotézy o tom, že atom vodíku zůstává na povrchu nanočástice, ale i že vzniká plynný vodík (H_2).

Kromě merkaptoderivátu lze použít sloučeniny obsahující disulfidovou (-S-S-) vazbu. Při interakci s povrchem nanočástice totiž dochází k disociaci této vazby a ke vzniku vazby mezi atomem síry a atomem na povrchu nanočástice.

Samotné umístění atomu síry na povrchu nanočástic je předmětem výzkumu. Ukazuje se, že atom síry neleží nad atomem, který je na povrchu nanočástice, ale mezi nimi (viz obrázek 2). Pokud tedy z krystalové mřížky (atomy, ze kterých je nanočástice tvořena, jsou uspořádány do krystalové mřížky stejně, jako kdybychom měli članý kov) vybereme např. tři atomy, které tvoří rovinný trojúhelník, atom síry bude nad těžištěm tohoto trojúhelníku.



Obrázek 2: Umístění atomu síry na povrchu nanočástice zlata; pohled z boku a shora

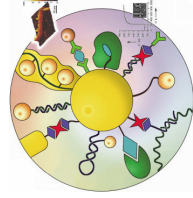
Výměna merkaptoderivátu za jiný merkaptoderivát

Na rozdíl od výše uvedeného způsobu modifikace výměna merkaptoderivátu za jiný neprobíhá kvantitativně. Poměr látek imobilizovaných na povrchu lze ovlivnit množstvím (koncentrací) přidaného merkaptoderivátu. Zastoupení jednotlivých látek se následně zjistí některými metodami, které byly uvedeny v předchozím dílu tohoto seriálu.

Seriál – Nanočástice III

Autor: Pavel Řezanka

Modifikace nanočástic



Někdy lze připravené nanočástice použít přímo bez jakékoliv další úpravy, to znamená, že látka určená k imobilizaci na nanočástice je přidána rovnou do reakční směsi při přípravě nanočástic. Věšinou ale po přípravě nanočástic následuje jejich modifikace, čímž je myšlena výměna stabilizujících látek na jejich povrchu. A tím se budeme zabývat v tomto dílu. Velký význam má modifikace v biotechnologii, a proto bude tento díl seriálu orientován tímto směrem.

Spojení biotechnologie a nanotechnologie vede k vytváření hybridních nanomateriálů, které mají vysoce selektivní katalytické a rozpoznávací vlastnosti biomateriálů (jako jsou proteiny/enzymy a DNA) a jedinečné elektronické, elektromagnetické a katalytické vlastnosti nanočástic. Spojení nanočástic s biomolekulami je proto lákavou oblastí výzkumu nanobiotechnologie.

Velký význam biosenzorů pro analytickou chemii vyplývá především z velké selektivity interakce imobilizovaných biomolekul se substrátem. Při vývoji nových biosenzorů se proto využívá spojení nanočástic s biomolekulami. Tyto systémy mají často jiné elektronické nebo optické vlastnosti než původní složky. Enzymy, antigeny, protilátky a biomolekulární receptory mají průměr od 2 do 20 nm. Jsou tedy rozměrově stejné jako nanočástice, a proto jsou tyto dvě třídy látek strukturálně kompatibilní, což umožňuje použít biomolekuly v dalších oblastech biochemie a analytické chemie.

S možností kontroly jedinečných optických a elektronických vlastností spolu s možností přípravy definovaných monodisperzních nanočástic kovů a polovodičů se otevírá velký potenciál pro budoucí biosenzory.

Výměna elektrostaticky vázaných látek za merkaptoderivát

Tento typ modifikace se nejvíce uplatňuje u nanočástic připravených citrátem (viz obrázek 1). Vzniklé nanočástice jsou totiž stabilizovány citrátem a jeho oxidačními produkty díky elektrostatickým silám. Použité merkaptoderiváty mohou být jen mezistupněm ke konečným nanočásticím. V tomto případě následuje další modifikace, viz níže. Druhou možností je připravit z látky, kterou chceme imobilizovat na povrchu, merkaptoderivát. Tak lze jednoduškovou (nepočítaje v to chemické reakce potřebné na přípravu merkaptoderivátu) reakcí připravit výsledně modifikované nanočástice.

Úloha č. 2: Melamin

Autor: Jana Zikmundová

6 bodů

Jistě jste na podzim zaznamenali aféru s čínským mlékem obsahujícím melamin. Není to ale první případ, kdy se přidávala tato látka do výrobků – v roce 2007 to bylo například do krmiv pro zvířata. Melamin při dlouhodobém požívání způsobuje ledvinové kameny, což může být až smrtelné. Proč se ale do potravin a krmiv přidává? Odpověď musíme hledat v používaných analytických metodách.

Nejprve musíme zjistit něco o látce samotné...

1. Nakreslete vzorec melaminu.
2. K čemu se normálně používá (tj. nepotravinářské účely)?

... a pak se dostaneme ke slibované analytice. Obsah bílkovin se podle klasických norem stanovuje Kjeldahlovou metodou, kdy se vzorek rozloží koncentrovanou kyselinou sírovou za přítomnosti katalyzátorů a dále se dusík určuje v jedné ze svých anorganických sloučenin. Ta se z roztoku uvolní alkalizací a oddestiluje se s vodní parou do známého množství kyseliny sírové. Nezreagovaná kyselina se stanovuje alkalimetrickou titrací. Ze zjištěného hmotnostního obsahu anorganické sloučeniny dusíku se po vynásobení korekčním faktorem pro jednotlivé komodity určí obsah bílkovin.

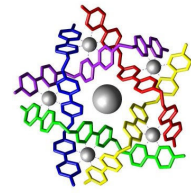
3. Napište reakce, které probíhají při stanovení bílkovin podle Kjeldahla.

Rozkladem se uvolní dusík nejen z bílkovin, ale i z jiných látek – a právě to je důvod, proč se na dusík bohatý melamin do nekvalitních nebo ředěných potravin přidával.

4. Rozhodněte, jestli se bude do výsledku stanovení dusíku Kjeldahlovou metodou započítávat dusík obsažený v: albuminu, DNA, močovině, chloridu amonném, dusičnanu draselném, dusitanu sodném.
5. Vypočtete, kolik procent „mléčné bílkoviny“ bylo představováno melaminem, když byl v mléce Kjeldahlovou metodou zjištěn normální obsah bílkoviny 3,3 g/100 g, ale kapalimovou chromatografií byl ve vzorku nalezen melamin o koncentraci 120 mg/kg? Korekční faktor pro mléko je 6,38.
6. Jak by se musela modifikovat úprava vzorku (u výše popsaného postupu se vzorek nijak neupravoval), aby se Kjeldahlovou metodou dal určit pouze bílkovinný/nebílkovinný dusík?

Úloha č. 3: Programovatelná hmota

Autor: Karel Berka

9 bodů

„Tak pravil mistr programátor:

Dobře napsaný program je podoběn nebi. Naproti tomu špatně napsaný program je to nejhroší peklo na zemi.“

— *Tao of programming*

Při programování napíše programátor kód, který pak nechá překladačem přeložit do takové podoby, aby mu počítač porozuměl – do jedniček a nul. Procesor přijaté jedničky a nuly vyhodnotí a udělá (občas) to, co programátor zamýšlel.

Podobně postupuje buňka, když čte informaci uloženou v DNA a pomocí mRNA vytváří protein, který pak provádí (naštěstí většinou) to, co by měl.

Ale programovat se dá i pomocí kovů. Nevěříte? Uvěřte. Použijeme jen trochu konceptů supramolekulární chemie...

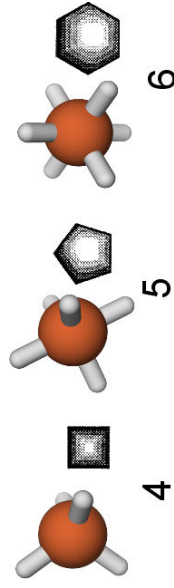
1. Kdo za objev supramolekulární chemie dostal Nobelovu cenu? A v kterém roce?

Pro začátek budeme potřebovat součástky, z kterých náš kód sestavíme. Budou dvě: ionty kovů a jejich ligandy.

2. Jakou koordinační geometrii mají nejčastěji komplexy následujících částic – Cd^{II} , Co^{III} , Cu^{I} , Cu^{II} , Fe^0 , Fe^{II} , Ni^0 , Ni^{II} , Pt^{II} , Pt^{IV} ?

3. Vysvětlíte, proč jsou stabilní jednoduché karbonylové komplexy $[\text{Fe}(\text{CO})_5]$ a $[\text{Ni}(\text{CO})_4]$, ale nejjednodušší stabilní karbonyl kobaltu je $[\text{Co}_2(\text{CO})_8]$.

Vaznost jednotlivých iontů si můžeme schematicky znázornit *n*-úhelníkem, takže čtyřvazný tetraedrický centrální atom znázorníme jako čtverec, pětivazný atom jako pětiúhelník a šestivazný oktaedrický atom jako šestiúhelník (obrázek 1).



Obrázek 1: 3D a schematická reprezentace *n*-vazných iontů přechodných kovů

3.

	1	2	3
K	Friedel-Craftsova alkylace	oxidace	esterifikace (Fischerova)
S	substituce hydroxyly za halogen	alkylace kovu	mukleofilní adice
I	alkylace acetylidu	adice vody na trojnou vazbu	Baeyerova-Villigerova oxidace
C	Diels-Alderova reakce	hydrogenace	redukcce karbonylu
H	hydroxylace dvojně vazby	pinakolinový přesmyk	Wittigova reakce
T	aldolová kondenzace	Liebenova haloformová reakce	redukcce karboxylu

4. U konečných produktů klesá nenasyčenost sloučeniny. Tu charakterizuje stupeň nenasyčenosti, jenž je roven polovině rozdílu mezi počtem vodíků a halogenů, byla-li by sloučenina nasycená (tj. neobsahovala by dvojně vazby ani cykly), a skutečným počtem vodíků a halogenů v molekule. Například pro **K₃** je stupeň nenasyčenosti 5, pro **S₃** je jeho hodnota 4 atd.

Otázka 1 – 1,2 bodu, otázka 2 – 7,2 bodu, otázka 3 – 3,6 bodu a otázka 4 – 1 bod. Celkem 13 bodů.

Úloha č. 5: KSICHTÍ syntéza

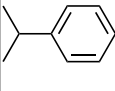
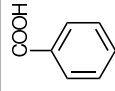

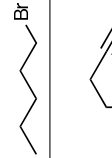
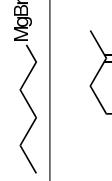
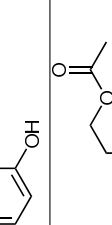
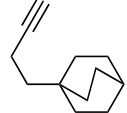
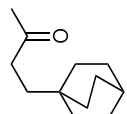
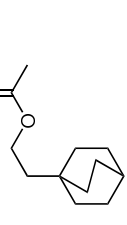
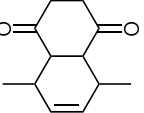
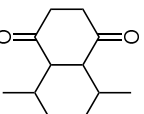
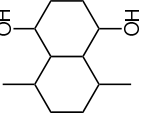
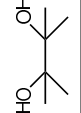
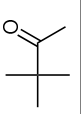
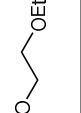
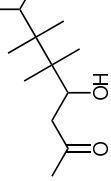
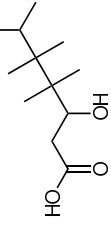
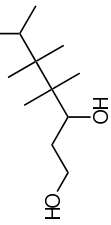
Autor: Pavla Spáčilová

13 bodů

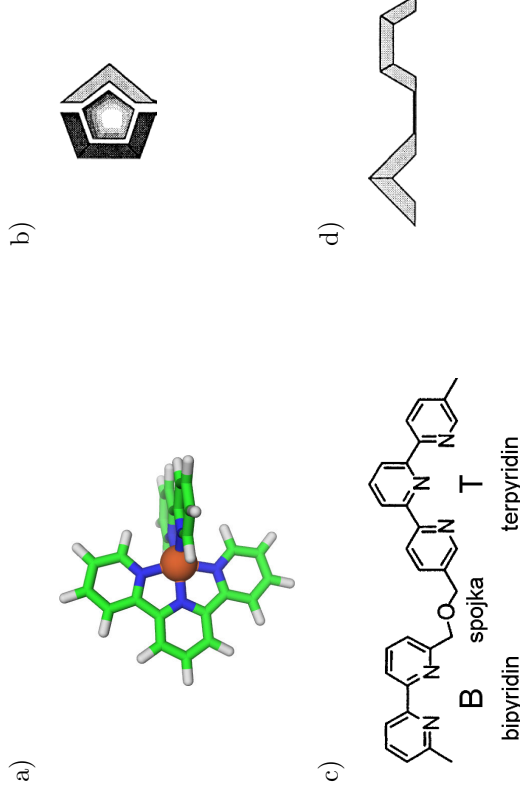
1.

K	2-chlorpropan	C	hexa-2,4-dien
S	pentanol	H	2,3-dimethylbut-2-en
I	ethyn	T	propanon

2.

	1	2	3
K			
S			
I			
C			
H			
T			

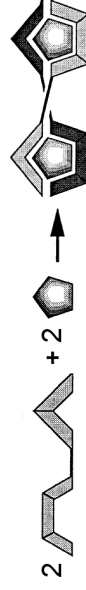
Pyridin může obsadit jedno vazebné místo centrálního atomu. Spojením pyridinů do řetězce můžeme získat základní „písmena“ našeho kódu: dva pyridiny vytvoří bidentátní bipyridin (B); tři pak terpyridin (T), který se váže do tří vazebných míst. Takže například na pětivazný centrální atom můžeme navázat jeden bipyridin a jeden terpyridin (obrázek 2a, 2b). Tato „písmena“ pak spolu můžeme spojovat pomocí vhodné dlouhých spojek do „slov“ (obrázek 2c, 2d).



Obrázek 2: a) 3D reprezentace pětivazného centrálního atomu v komplexu s bipyridinem a terpyridinem; b) totéž ve schematické reprezentaci; c) struktura slova BT složeného z písmen B a T spojených spojkou; d) schematická reprezentace slova BT.

Spojky také zajistí, že se nemohou vedlejší písmena vázat na stejný centrální atom. Počet obsazovaných míst můžeme znázornit také schematicky pomocí destiček přikládávaných na jednotlivé plochy *n*-úhelníků zobrazujících centrální atomy. Nejlepší struktura je pak vždy ta nejmenší možná, ve které ligandy obsadí všechna vazebná místa centrálních atomů. Vlákná se díky spojkám překříží. To si můžeme znázornit například na komplexu BT s pětivaznými atomy (obrázek 3).

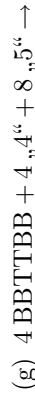
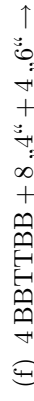
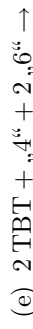
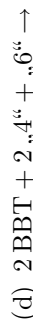
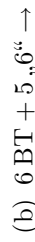
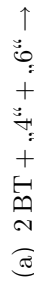
4. Odhadněte, jaký tvar bude BT s pětivaznými ionty zaujímat. Které biologické molekule se tvar blíží?



Obrázek 3: Komplex „slova“ BT s pětivaznými centrálními atomy

Tento tvar ale není jediný, vhodné zvolená slova a centrální atomy umožňují tvorbu různých nanosoučástek a nanomřížek. Pár si jich můžete vyrobit i vy v následující otázce.

5. Co získáme smícháním: (číslice v uvozovkách udávají vaznost centrálního atomu)



11. „Samochladící“ označuje děj, zatímco „samochladící“ se vztahuje k předmětu. Správně je tedy „samochladící sud“.

Otázka 1 – 1 bod, otázka 2 – 0,5 bodu, otázka 3 – 0,5 bodu, otázka 4 – 1 bod, otázka 5 – 0,5 bodu, otázka 6 – 2 body, otázka 7 – 1 bod, otázka 8 – 0,4 bodu, otázka 9 – 1 bod, otázka 10 – 1 bod a otázka 11 – 0,1 bodu. Celkem 9 bodů.

6. Nejprve si spočítáme, kolik tepla musíme pivo odebrat:

$$Q = n \cdot C_{p,m} \cdot \Delta T = \frac{\rho V}{M} \cdot C_{p,m} \cdot \Delta T \quad (1)$$

$$Q = \frac{1,00 \cdot 20 \cdot 10^3}{18,015} \cdot 75,29 \cdot (7 - 35) \quad (2)$$

$$Q = -2,34 \text{ MJ} \quad (3)$$

K odběru takového množství tepla potřebujeme odpařit:

$$Q = n \cdot \Delta_{1 \rightarrow g} H \Rightarrow n = \frac{Q}{\Delta_{1 \rightarrow g} H} = \frac{-(-2,34 \cdot 10^6)}{43,56 \cdot 10^3} = 53,72 \text{ mol} \quad (4)$$

$$m = n \cdot M = 53,72 \cdot 18,015 = 969,6 \text{ g} \approx 1 \text{ kg vody} \quad (5)$$

7. Takřka veškerá odpařená voda se naváže na zeolit. Entalpie adsorpce na zeolit je totiž výrazně větší, než entalpie odparu vody. Adsorpce vody opět uvolní teplo. Vzniklé teplo pak ohřeje naadsorbovanou vodu, zeolit a samozřejmě i ocelový plášť, který se ochlazuje okolním vzduchem.

$$Q = \Delta_{\text{adsorpce}} H \cdot n_{\text{voda}} = -(-85,1 \cdot 10^3 \cdot 53,72) = 4,57 \text{ MJ} \quad (6)$$

$$Q = (C_{p,m} \cdot n_{\text{voda}} + c_p \cdot m_{\text{zeolit}} + c_p \cdot m_{\text{ocel}}) \cdot \Delta T + \Delta \dot{Q}_{\text{ztráty}} \cdot t \quad (7)$$

$$T = \frac{Q - \Delta \dot{Q}_{\text{ztráty}} \cdot t}{C_{p,m} \cdot n_{\text{voda}} + c_p \cdot m_{\text{zeolit}} + c_p \cdot m_{\text{ocel}}} + T_0 \quad (8)$$

$$T = \frac{4,57 \cdot 10^6 - 1100 \cdot 3600}{75,29 \cdot 53,72 + 2,21 \cdot 10^4 + 0,47 \cdot 10^4} + 35 \quad (9)$$

$$T = 19,8 + 35 = 54,8 \text{ } ^\circ\text{C} \quad (10)$$

8. Protože objem kondenzovaných fází se při konstantní teplotě mění minimálně.

9. Oblíbená vojenská metoda spočívá v bandasce, která je obalena plstí. Bandaska se ponoří na chvíli do vody a plst ji nasákne. Za chůze se pak voda z plsti odpařuje a bandaska se chladí. Starší 18 let si ho mohli v civilizaci vychlazené i koupit.

10. Protože pěna je disperzní soustava, která rozptyluje světlo všech vlnových délek. Díky tomu světlo odráží nazpět a jeví se pak bílá. Naproti tomu v kapalném pivu se světlo absorbuje a to se pak jeví černé.

Úloha č. 4: Cyklický oligosacharid

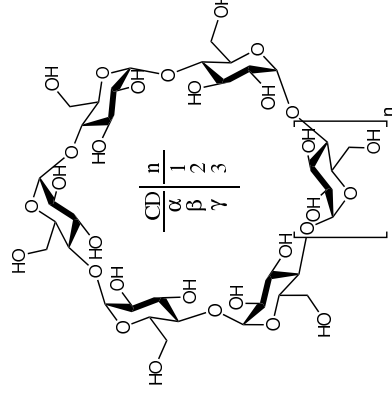
10 bodů

Autor: Michal Řezanka

*Jsem oligosacharid a přesto nejsem sladký. Kdo jsem?
Cyklodextrin!*

Tato úloha vznikla k 118. výročí objevení cyklodextrinů. Ač jejich objevitel zajisté nepředpokládal dalekosáhlý dopad svého objevu, s cyklodextriny se dnes setkáváme takřka na každém kroku (i když o tom možná nevíme).

Cyklodextriny (zkráceně CD), jež mají tvar dutého komolého kužele, jsou cyklické oligosacharidy složené z α -D-glukopyranosových jednotek v konformaci 4C_1 vzájemně spojených $\alpha(1 \rightarrow 4)$ glykosidickými vazbami. Do cyklu je nejčastěji spojeno 6, 7 nebo 8 glukopyranosových jednotek a jsou označovány jako α -, β - nebo γ -CD (obrázek 1).



Obrázek 1: Struktura cyklodextrinů

1. Kdo byl první objevitel cyklodextrinů?
2. V předcházejícím odstavci bylo zmíněno, že se s cyklodextriny můžeme potkat téměř všude. Mají cyklodextriny také své „éčko“?
3. Jakých vlastností cyklodextrinů se využívá v průmyslu? Proč se cyklodextrin používá jako aditivum?
4. Cyklodextriny našly své uplatnění i v různých odvětvích chemie. V jakých? K čemu se tam využívá?

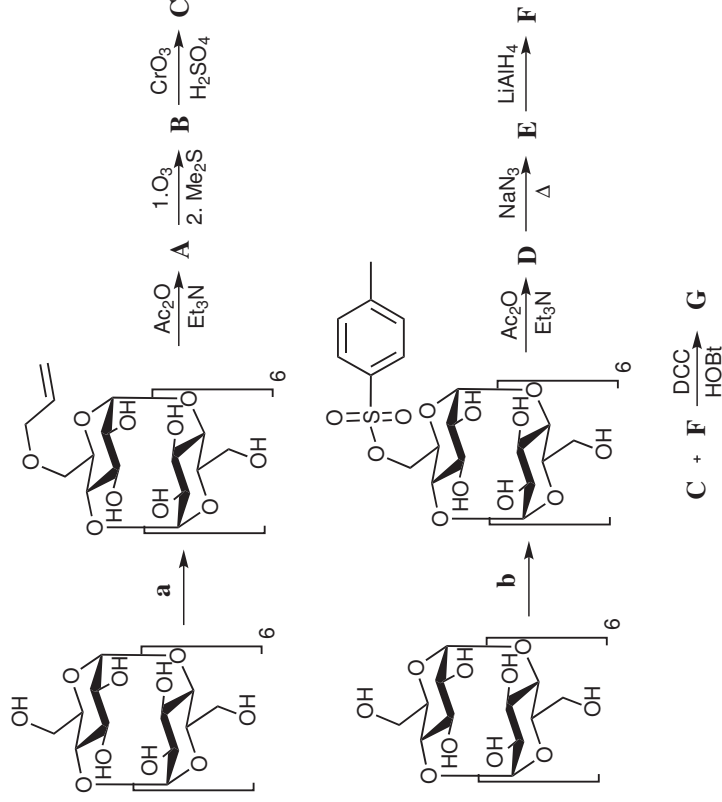
5. Cyklodextriny se překvapivě používají i v textilním průmyslu – například při výrobě triček. Napište jaké výhody mají trička, při jejichž výrobě byly cyklodextriny použity. Popište mechanismus působení cyklodextrinů v těchto tričkách.

Pro některé průmyslové i chemické aplikace je třeba cyklodextriny substituovat. Téměř výhradním místem substituce jsou hydroxylové skupiny v polohách 2, 3 a 6.

6. (a) Kolik takových monosubstituovaných derivátů můžeme odvodit od α -, β - a γ -CD?

(b) A kolik disubstituovaných derivátů?

Podívejme se na přípravu jednoho cyklodextrinového derivátu.



7. Napište činidla **a**, **b** a produkty **A–G**.

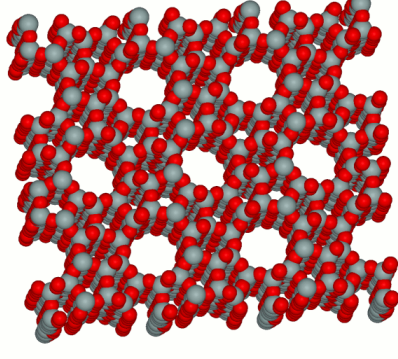
Nápověda: Vždy byl použit nadbytek acetanhydridu. Ac = acetyl, DCC = dicyklohexylkarbodimid, Et = ethyl, HOBT = 1-hydroxybenzotriazol, Me = methyl.

Úloha č. 4: Sud

Autori: Karel Berka a Pavla Spáčilová

9 bodů

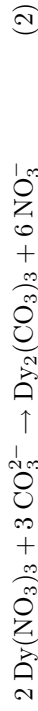
1. Voda v meziplášti se začne odpařovat do prostoru se zeolitem, na který se pak adsorbuje. Při odpařování voda odebrává teplo plášti pod sebou, který zase chladí pivo.
2. Trochu ano, ale podtlak především ulehčuje odpařování vody a menší hustota vodních par pak navíc alespoň částečně zamezí zpětnému přenosu tepla z teplého zeolitu na chlazený vnitřní plášť kryjící pivo.
3. Voda se na zeolitu adsorbuje, což uvolňuje teplo. Zeolit pak zahrívá plášť sudu.
4. Zeolity jsou hlinitokřemičitany, které vystihuje souhrnný vzorec TO_4 (T = Si, Al) a které mají nanoporézní strukturu. Využívají se v chemické katalýze, v separaci látek dle velikosti, v tepelných strojích (ledničky, solární panely), při vysušování organických rozpouštědel a při mnoha jiných dějích.



Obrázek 1: Atomová struktura zeolitu ZSM-5

5. Protože jsou porézní. Většina povrchu je vnitřní povrch pórů.

budeme tedy srážet nějakým rozpustným uhličitánem (sodný, draselný).
Vznikne nerozpustný uhličitán dysprosity:



Vzniklý uhličitán poté rozložíme kyselinou chloristou (známější reakcí stejného principu je rozklad vápence kyselinou chlorovodíkovou):



Obě reakce jsou vcelku nenáročné na provedení, probíhají v podstatě kvantitativně, dostatečně rychle (v případě rozkladu uhličitánu mnohdy až příliš rychle – je třeba pracovat opatrně a kyselinu přidávat po částech) a vzniklý produkt není třeba přečišťovat, protože vznikající CO_2 je plyn, takže opustí reakční aparaturu sám a dobrovolně.

Kladně hodnoceny byly samozřejmě i jiné smysluplné metody.

Otázka 1 – 0,5 bodu, otázka 2 – 0,75 bodu, otázka 3 – 1,25 bodu, otázka 4 – 0,5 bodu, otázka 5 – 1 bod, otázka 6 – 1,5 bodu, otázka 7 – 1 bod a otázka 8 – 0,5 bodu. Celkem 7 bodů.

Úloha č. 5: Ovoce, zelenina, atomy

15 bodů

Autor: Luděk Míka

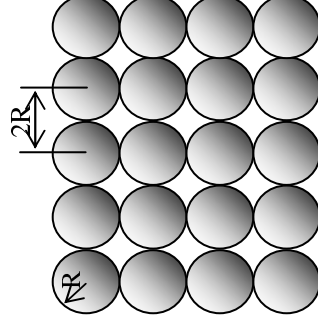
Za devatero horami, devatero řekami žil byl jeden zelinář. Jednoho krásného dne se v městě konal veliký trh, zelinář otrhal svou úrodu a zaměřikal si: „Proč jen musím bydlet tak daleko? A jak tam všechnu zeleninu na svém malém vozíku odvezu?“

Pomožme tedy zelináři s nakládáním zeleniny do vozíku.

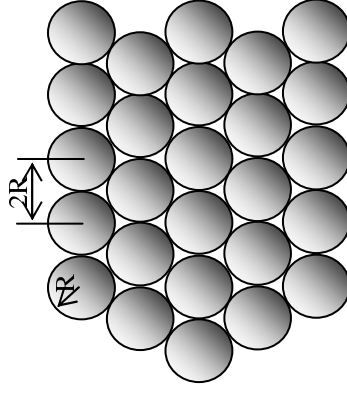
1. Kdo první se zabýval uspořádáním koulí v prostoru? O tomto problému vyslovil jistou domněnku. Jak zní? Byla tato domněnka dokázána? Kdy? Kým?

Teď se ale vrhněme na nakládání měkké zeleniny, rajčat. Při jejich transportu je třeba zabránit jejich rozmáčknutí, nakládají se tedy do přepravky v jedné vrstvě.

2. Jsou dvě možnosti jak uspořádat rajčata ve vrstvě, A a B (viz obrázek níže). Vypočítejte hustotu uspořádání rajčat (ϕ) pro případy A a B podle vztahu $\phi = S_{\text{rajčata}} / (S_{\text{neobsazený}} + S_{\text{rajčata}})$. Počítejte s neohrazenou plochou, stejně tak jako v dalších příkladech počítejte s neohrazeným prostorem.



Vrstva typu A



Vrstva typu B

Tvrďší zelenina, která není tak náchylná na rozmáčknutí (jako třeba kedlubny), se může přepravovat v krabicích. Stejně jako u rajčat, je i zde několik možností, jak je do krabice poskládat:

- První vrstva je typu A, druhá vrstva je přesnou kopií první vrstvy, kedlubna ve druhé vrstvě leží přímo nad jinou kedlubnou ve vrstvě první (primitivní kubické uspořádání).
 - První vrstva je typu A, kedlubny v druhé vrstvě leží nad dutinami první vrstvy (tělesně centrované kubické uspořádání).
 - První vrstva je typu B, druhá vrstva je přesnou kopií první vrstvy, kedlubny druhé vrstvy leží přímo nad kedlubnami vrstvy první (hexagonální uspořádání).
 - První vrstva je typu B, kedlubny druhé vrstvy leží přímo nad dutinami první vrstvy (nejtěsnější hexagonální uspořádání).
3. (a) Vypočítejte relativní hustotu ($V_{\text{obsazený}}/V_{\text{celkový}}$) pro jednotlivé uspořádání kedluben v krabici. Který typ uspořádání je nejvýhodnější pro nakládání do vozíku?
- (b) Pro uspořádání třetí vrstvy v posledním případě jsou možné dva způsoby:
- i. umístění kedluben přesně nad kedlubny první vrstvy
 - ii. umístění kedluben přesně nad dutiny první vrstvy
- Vypočítejte relativní hustotu pro alternativu ii), která je též označována jako plošně centrované kubické uspořádání. Mění se nějak hustota se změnou umístění třetí vrstvy?

Náš zelinář dostal při skládání melounů velice důmyslný nápad. Má přece ještě jablka, která se tak akorát vejdou do dutin mezi melouny, tak proč vozit o jednu bedýnku víc?

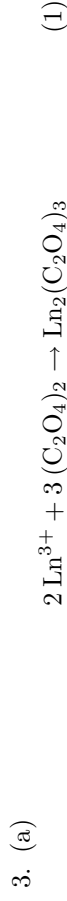
4. Spočítejte hodnotu poměru $R_{\text{jablko}}/R_{\text{meloun}}$ pro jablko přesně pasující do:
- (a) kubických dutin v primitivním kubickém uspořádání
 - (b) oktaedrických dutin v plošně centrovaném kubickém uspořádání
 - (c) tetraedrických dutin v plošně centrovaném kubickém uspořádání
5. Jaký maximální počet jablek na jeden meloun může zelinář umístit, pokud použije následující uspořádání: primitivní kubické, primitivní hexagonální?

Když už byl zelinář v nejlepší, vymyslel si ještě složitější způsob skládání ovoce a zeleniny do vozíku. Melouny v nejtěsnějším kubickém uspořádání mají přece dva druhy dutin. Oktaedrické a tetraedrické. Tak do oktaedrických umístil jablka a do tetraedrických meruňky.

Úloha č. 3: Obvyčejná chemie neobvyčejných prvků 7 bodů

Autor: Václav Kubát

1. • terbium, erbium a ytterbium – všechny podle vesnice Ytterby (a také yttrium, které není lanthanoid)
 - holmium – podle Stockholmu (lat. Holmia)
 - lutecium – podle Paříže (lat. Lutetia – mohli jste slyšet v kreslené verzi Asterixe a Obelixe)
2. $[\text{LnCl}_6]^{3-}$ je obvyčejný oktaedr. Druhý případ, $[\text{Ln}(\text{H}_2\text{O})_9]^{3+}$, je poněkud obtížnější, jedná se o tříkrát doplněné trigonální prisma (trig. prisma s dalším vrcholem nad každou ze tří stěn), nebo z angličtiny odvozený název tricapped trigonální prisma (doslova „tříkrát očepečkované“).



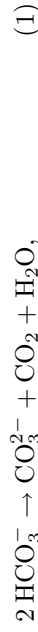
- (b) O rozpustnosti šťavelanu ceričitého se moc bavit nemůžeme, neboť neexistuje samotný šťavelan ceričitý. Cer v oxidačním stavu +IV je oxidační činidlo, šťavelan je látka oxidovatelná (toto můžeme dokumentovat třeba standardizací roztoku KMnO_4 pro manganometrické titrace, jako standard se používá právě kyselina šťavelová, která je při standardizaci manganistanem oxidována), takže v okamžiku smísení roztoku ceričité soli s kyselinou šťavelovou dojde mezi těmito dvěma látkami k redoxní reakci a nikoliv ke srážení šťavelanu ceričitého. Jedná se o obecně platný princip, za stejného důvodu neexistuje třeba sulfid chromový.
4. Protože promethium je radioaktivní. Tento prvek byl jako jediný lanthanoid připraven uměle a nemá žádný stabilní izotop. V případě potřeby je tedy nutné získat jej jadernými přeměnami a samozřejmě pracovat s ním dle příslušných pravidel pro práci se zdroji ionizujícího záření, což jej vzhledem k ostatním lanthanoidům značně handicapuje.
5. Dysprosium se v 15% HCl rozpouští samozřejmě bude, spolu s ostatními lanthanoidy patří mezi nešlechtilé kovy, v Beketově řadě napětí kovů leží tedy vlevo od vodíku a tudíž není důvod, proč by jej nemělo z HCl vyredukovat.
6. Poměrně elegantní možnosti, která zároveň zaručuje vysoký výtěžek reakce a dobrou čistotu získaného chloristanu, je převedení dusičnanu na nerozpustný uhličitan a jeho následné rozpuštění v kyselině chloristé. $\text{Dy}(\text{NO}_3)_3$

Úloha č. 2: Samá voda

Autor: Jana Zikmundová

1. V pračce se voda ohřívá a nestabilní, ale rozpustné hydrogenuhličitaný se na topné spirále rozkládají na nerozpustné uhličitany.
2. Změkčovače vážou vápenaté a hořečnaté ionty většinou do rozpustných sloučenin. Mohou vznikat i nerozpustné sloučeniny, ale neusazují se uvnitř pračky. Používají se například soda (uhličitan sodný), zeolity, citráty apod.
3. Celková tvrdost je obsah vápenatých a hořečnatých iontů ve vodě. Stavuje se chelatometricky. Přejodná tvrdost je obsah hydrogenuhličitanu vápenatého a hořečnatého a lze ji odstranit zahřátím (viz odpověď 1). Trvalá tvrdost je obsah vápničku a hořčíku v jiných rozpustných solích.
4. BSK je biologická spotřeba kyslíku a zjišťuje se podle ní obsah aerobních bakterií ve vodě. CHSK znamená chemická spotřeba kyslíku a určuje obsah oxidovatelných organických látek. Pro odpadní vody se používá titrace dichromanem draselným, pro pitné vody manganimanem draselným.
5. Celková tvrdost vody je součet obsahu Ca a Mg, tedy 3,4 mmol/l. Přejodná tvrdost je obsah Ca a Mg v hydrogenuhličitanech, koncentrace HCO_3^- (KNK_{4,5}) je 2,4 mmol/l a tudíž koncentrace kationtů je poloviční – 1,2 mmol/l. Trvalá tvrdost je dána rozdílem celkové a přejodné tvrdosti, tj. 3,4 – 1,2 = 2,2 mmol/l.

Hydrogenuhličitaný se rozkládají podle rovnice

množství vyloučeného uhličitanu je tedy poloviční než původního hydrogenuhličitanu. Hmotnost CaCO_3 vyloučeného z 1 litru vody je

$$m = \frac{1}{2} n_{\text{HCO}_3^-} \cdot M_{\text{CaCO}_3} = 1,2 \cdot 10^{-3} \cdot 100 = 0,12 \text{ g}. \quad (2)$$

6. Objem vodního kamene pokrývajícího topnou spirálu o ploše 20 cm² vrstvou 3 mm je $V = 0,3 \cdot 20 = 6 \text{ cm}^3$. Hmotnost vrstvy je pak $m = \rho \cdot V = 2,5 \cdot 6 = 15 \text{ g}$. Tolik CaCO_3 se vysráží z 15/0,12 = 125 l vody.

Otázka 1 – 0,5 bodu, otázka 2 – 0,6 bodu, otázka 3 – 1,2 bodu, otázka 4 – 1,2 bodu, otázka 5 – 2,6 bodu a otázka 6 – 0,9 bodu. Celkem 7 bodů.

6. V jakém poměru jsou v krabici meruňky, jablka a melouny? Jaké je teď relativní zaplnění prostoru (V_{ovoce} a $V_{\text{zelenina}}/V_{\text{celkový}}$)?

7. (a) Jaké ovoce máte nejraději?

- (b) Jakou zeleninu máte nejraději?

Nakonec se podařilo zelináři všechno ovoce a zeleninu na vozík naložit, šťastně dojel do města a všechno prodal...

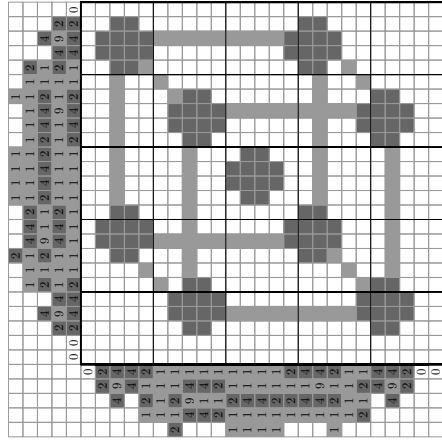
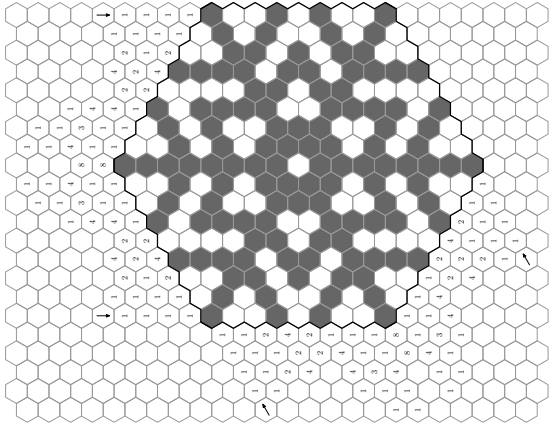
Za devatero digestoremí, devatero sklady chemikálií, devatero laboratorními stoly žil byl jeden chemik. Jednoho dne ho napadlo, že bude skládat atomy. Ale to už je jiná pohádka...

Řešení úloh 2. série 7. ročníku KSICHTU

Úloha č. 1: Kódované obrázky

Autor: Kateřina Holá

1. Správně vybarvené obrázky následují:



7 bodů

- Na prvním obrázku je zobrazena sněhová vločka. Voda za normálních podmínek krystalizuje v šesteréčné soustavě, což má za následek i tvar vloček. Nad tímto tvarem ze poprvé pozastavil Johannes Kepler roku 1611.
- Na druhém obrázku je zobrazena prostorově centrovaná mřížka, centrální atom obklopuje osm atomů. V prostorově centrované mřížce krystalizují například lithium, sodík, draslík, vanad, chrom, železo, rubidium, niob, molybden, cesium, baryum, europium či tantal.
- Do jedné buňky se vejdou dva celé atomy (pro představu – jeden atom se nachází uprostřed buňky a dále se v buňce vyskytuje osm osminových výsečí).

Při nejtěsnějším uspořádání v tomto typu mřížky se tuhé koule dotýkají na tělesové úhlopříčce buňky. Délka hrany krychle je pak:

$$\sqrt{3}a = 4r \Rightarrow a = \frac{4}{\sqrt{3}}r \quad (1)$$

Hustota uspořádání p je dána poměrem objemu atomů a objemu buňky:

$$p = \frac{V_n}{V} = \frac{\frac{8}{3}\pi r^3}{\left(\frac{4}{\sqrt{3}}\right)^3 r^3} = 0,68 \quad (2)$$

Otázka 1 – 4,5 bodu, otázka 2 – 0,5 bodu, otázka 3 – 1 bod a otázka 4 – 1 bod. Celkem 7 bodů.